

# Kapcsolóüzemű DC-DC konverterek

Diószegi Gyula villamosmérnök, divelex@gmail.com

A 2016-ban megrendezett *Országos Elektronikai Konstruktív Verseny* építési- és mérési feladatául szolgált az ismertetésre kerülő feszültségcsökkentő (Buck vagy step-down), ill. feszültségnövelő (Boost vagy step-up) DC-DC konverter. Célunk a középfokú szakképzésben résztvevők és az érdeklődők számára a két leggyakrabban alkalmazott konverter működésének elvi, majd egy-egy konkrét kapcsoláson keresztül a gyakorlati ismertetése.

Napjainkban már nemcsak az ipari, hanem a háztartásokban használt elektronikai készülékekben is teljesen általánossá vált a kapcsolóüzemű tápegységek alkalmazása, amelyeket – a hagyományos, hálózati transzformátort és disszipatív feszültségstabilizátort tartalmazó tápegységekkel szemben – a kis térfogat, magasabb hatásfok és tömegtermelés esetén az alacsony ár egyaránt jellemez. Jelen cikkben ismertetjük a Buck konverter elvi működését, majd a versenyfeladatként szolgáló áramkört, egy gyakorlati kapcsolást elemzünk oszcilloszkóp-felvételekkel illusztrálva. A cikk *második részében* egy Boost konvertert ismertetünk, majd a hatásfok méréséhez szükséges segédeszközt, egy elektronikus terhelést mutatunk be.

## Buck konverter elvi működése, üzemmódjai

Mindkét, általunk tárgyalt, galvanikus leválasztást nem biztosító kapcsolóüzemű tápegység a következő áramköri elemeket tartalmazza: K1 kapcsoló (ez a gyakorlatban lehet bipoláris tranzisztor, vagy előnyösebb esetben MOSFET), energiatárolásra szolgáló vasmagos L tekercs, K2 kapcsoló, ez többnyire Schottky dióda – amelyet az angolszász szakirodalom Buck konverterek esetén flywheel diode-nak, azaz lendkerék-diódnak hív – vagy MOSFET, továbbá a bemeneten elhelyezett C1 elektrolit pufferkondenzátor, valamint a C2, a kimeneten elhelyezett lehetőleg kis soros ekvivalens ellenállással (Low ESR) rendelkező kondenzátor.

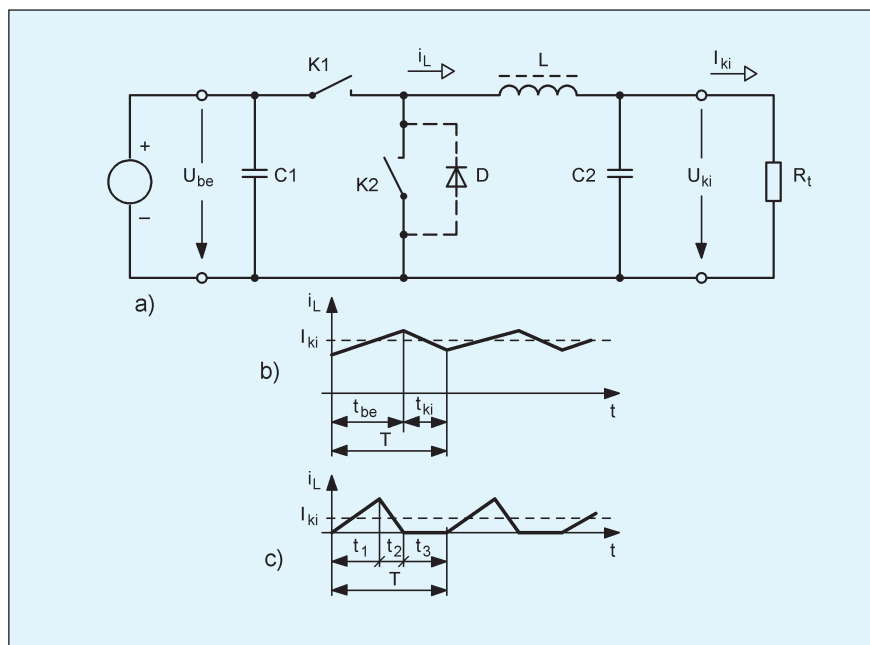
Ezek az elemek mindkét ismertetendő kapcsolásban megtalálhatók, csupán a kapcsolás topológiája változik. (Megjegyezzük, hogy ugyanezen áramköri elemeket tartalmaznak a most nem tárgyalt Buck-Boost, SEPIC, Čuk – más helyeken Cuk vagy Cúk – stb. konverterek is.)

Az **1.a ábra** a fenti elemekkel felépített Buck konverter elvi rajzát, az **1.b** és az **1.c ábra** a tekercs áramát mutatja két különböző üzemmód esetén.

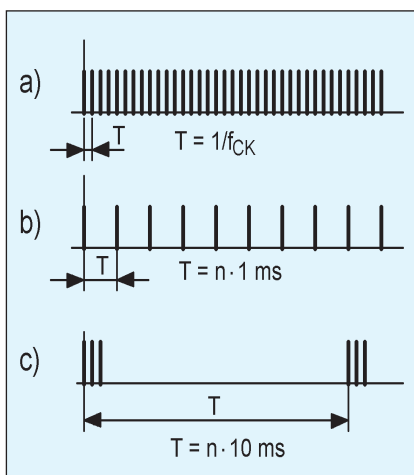
A K1 és K2 kapcsolók alternatív üzemben működnek, azaz, ha K1 zárt, akkor a K2 nyitott állapotban van és fordítva. A kapcsolók vezérlése konstans frekvenciájú, de változtatható kitöltési tényezőjű négyszögjellel történik. (Ez a közismert impulzusszélesség-moduláció; az angolszász szakirodalomban PWM-ként, azaz Pulse Width Modulation néven ismert.)

Az **1.b ábra** a tekercs áramát, valamint a kimeneti áramot mutatja az idő függvényében.

A konverter működését a legtöbb szakirodalom ennek a diagramnak a segítségével magyarázza. Ez a folyamatos üzemmód, amit a Continuous Conduction Mode kezdőbetűiből képezve CCM üzemmódnak neveznek. Amint láthatjuk, az induktivitáson folyamatosan folyik áram, innen származik ennek az üzemmódnak az elnevezése is. A  $t_{be}$  időtartam alatt a K1 bekapcsolott állapotban van, az induktivitáson mért feszültség  $U_L = U_{be} - U_{ki}$ . Ennek és a tekercs induktivitásának értékétől függő meredekséggel nő az  $i_L$  áram. Ekkor a D dióda záróirányban



1. ábra



2. ábra

van előfeszítve. A K1 nyitásakor az  $U_L$  polaritást vált, a dióda kinyit (vagy ekkor zárjuk a K2-t), az induktivitás árama csökkenni fog. Az  $U_{ki}$  kimeneti feszültség és az  $R_t$  terhelés által meghatározott  $I_{ki}$  kimeneti áram a tekercs áramának átlagértéke lesz, amint azt a szaggatott vonallal ábrázoltuk.

A kimeneti feszültség nagyságát a bemeneti feszültség értéke és a K1 zárási, ill. nyitási időtartama, azaz kitöltési tényezője határozza meg az alábbi képlet szerint:

$$U_{ki}/U_{be} = D,$$

ahol

$$D = t_{be}/(t_{be} + t_{ki}) = t_{be}/T.$$

Rendezve:

$$U_{ki} = U_{be} \cdot D,$$

ahol  $D$  (Duty cycle) a kitöltési tényező, a  $T$  pedig a konstans periódusidő.

Az 1.c ábrán ugyancsak a tekercs áramát láthatjuk az idő függvényében abban az esetben, ha a kimeneti áramot egy határérték alá csökkentjük. Ez a konverter DCM (Discontinuous Conduction Mode) azaz szakaszos működési módja. Amint láthatjuk, a tekercs árama nem folyamatos, innen származik az elnevezés is. Ekkor a periódusidőt három időtartamra bonthatjuk:

$I_{ber}$ A	$P_{ber}$ W	$I_{kir}$ A	$P_{kir}$ W	$\eta$	$\eta, \%$
0,008	0,0996	0,01	0,05	0,502	50
0,013	0,1584	0,02	0,1	0,631	63
0,019	0,228	0,03	0,15	0,658	66
0,024	0,288	0,04	0,2	0,694	69
0,03	0,36	0,05	0,25	0,694	69
0,035	0,42	0,06	0,3	0,714	71
0,041	0,492	0,07	0,35	0,711	71
0,046	0,552	0,08	0,4	0,725	73
0,052	0,624	0,09	0,45	0,721	72
0,06	0,72	0,105	0,525	0,729	73
0,082	0,984	0,15	0,75	0,762	76

$$T = t_1 + t_2 + t_3.$$

A korábbi üzemmóddhoz képest itt új elemként jelenik meg a  $t_3$ , az az időtartam, ami alatt a tekercsen nem folyik áram. A K2-n megjelenő feszültség hullámformáját a CCM üzemmóddhoz képest ez jelentősen megváltoztatja (ld. a konkrét áramkör jelalakjainak ismertetésekor). A szaggatott vonallal ábrázolt  $I_{ki}$  kimeneti áram itt is az  $i_L$  átlaga.

A következőkben azt vizsgáljuk meg, hogyan működik a konverter, ha a terhelőáram csaknem nulla. Ez a készenléti működési mód, amelyre az angolszász szakirodalomban a következő szakkifejezéseket használják: standby mode, sleep mode, összefoglaló néven power-saving modes. Ekkor a vezérlő IC feladata biztosítani, hogy a bemeneti teljesítményfelvétel a lehető legkisebb legyen. A lehetséges készenléti üzemmódokat a 2. ábrán látható tematikus diagramokkal szemléltetjük. A 2.a ábrán a normál üzemmódot láthatjuk,  $T = 1/f_{ck}$ , azaz a periódusidőt az órajel frekvenciája határozza meg. A 2.b ábrán látható üzemmódot az angolszász szakirodalom SKIP üzemmódnak nevezi, ekkor a vezérlőjelek ismétlődési ideje  $n \cdot 1$  ms. (A konkrét áramkör ismertetésekor ilyen jelalakokkal is fogunk találkozni.) További áramfelvétel csökkenést eredményez a 2.c ábrán látható úgynevezett BURST energiatakarékos működési mód. Ekkor a két-három üzemi periódust követően az ismétlődési idő  $T = n \cdot 10$  ms. Mindkét esetben  $n \geq 1$ .

## Buck konverter

A Versenyen a mérés tárgyát képező konverter kapcsolási rajza a 3. ábrán látható, melynek főbb paraméterei:  $U_{ki} = +5$  V,  $U_{be} = +12$  V,  $I_{ki} = 100$  mA, hatásfokát különböző terhelőáramok esetén az Excel-tábla alapján szedett táblázat tartalmazza. Az abban szereplő adatok is természetesen a fenti be- és kimenőfeszültségre vonatkoznak. Az ábrán tapasztalható hiányos pozíciószámozásra a cikk 2. részében találjuk majd meg a magyarázatot.

A kapcsolási rajzot összevetve az 1. ábrán látható elvi rajzzal, könnyen megfeleltethetjük az egyes kapcsolási elemeket. A K1 kapcsolót is tartalmazó ON Semiconductor gyártmányú MC34063 típusú IC látja el a vezérlési feladatot. Részletes adatlapja a [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com) honlapon található.

A bemeneten elhelyezett puffer kondenzátornak a C1, a kimenetnek pedig a C3 felel meg.

Az induktivitás és a Schottky dióda is egyértelműen azonosítható. A K1 kapcsolót, amint már említettük, az IC tartalmazza. Az npn típusú bipoláris tranzisztor kollektora az SWC (Switch Collector), míg az emittere az SWE (Switch Emitter) jelölésű kivezetésen érhető el.

A belső oszcillátor frekvenciáját beállító időzítő kondenzátor – itt C5 – a TC (Timing Capacitor) pontra csatlakozik. A 470 pF-os érték 50 kHz-es órajelet eredményez. A TC ponton a 4. ábrán látható jelalakot mérhetjük. Mérés szerint a jel frekvenciája 51,12 kHz.